

Interpolación espacial de la temperatura máxima mediante regresión local

José Antonio Sosa Cardo.

Sección de Estudios y Desarrollos.
Centro Meteorológico Territorial en Extremadura. INM.

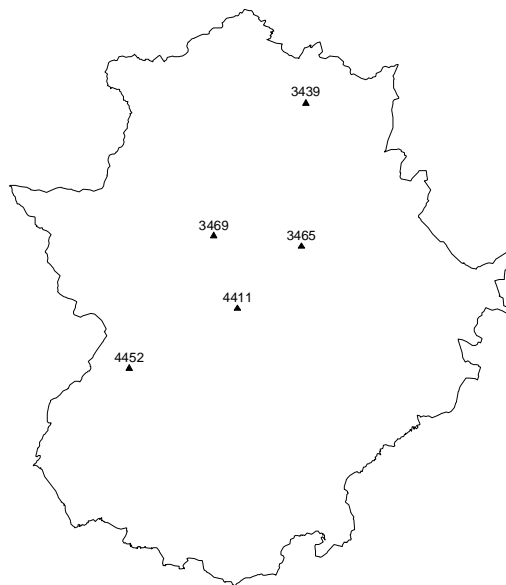
Introducción.

Se propone en este trabajo generar mapas interpolados de la temperatura máxima, que en posteriores trabajos se pretende extender a otras variables meteorológicas, basándonos en la mejor cobertura posible de datos observados y apoyándonos en otros campos en los que tengamos mejor cobertura espacial como pueden ser los campos de alturas y orientaciones entre otros.

Datos de Partida.

Se intentará partir de la mejor cobertura de observaciones posible y a su vez de la mejor calidad posible. Se han utilizado en este trabajo datos de la red secundaria previamente filtrados por los filtros desarrollados a tal efecto (véase el trabajo *Selección de Estaciones Meteorológicas de la Red Secundaria del INM*).

Para hacernos una idea veamos el siguiente ejemplo: si pretendemos trazar un mapa de la temperatura media de las máximas para la Comunidad de Extremadura, perteneciente al periodo 1961-1990, nos encontramos que el conjunto de estaciones que dispone de un periodo de observación continuado de 30 años asciende a sólo 5, y son las que se muestran en el siguiente mapa:



Mapa 1.- Estaciones de la red secundaria con observaciones durante el periodo 1961-1990 de la temperatura máxima diaria.

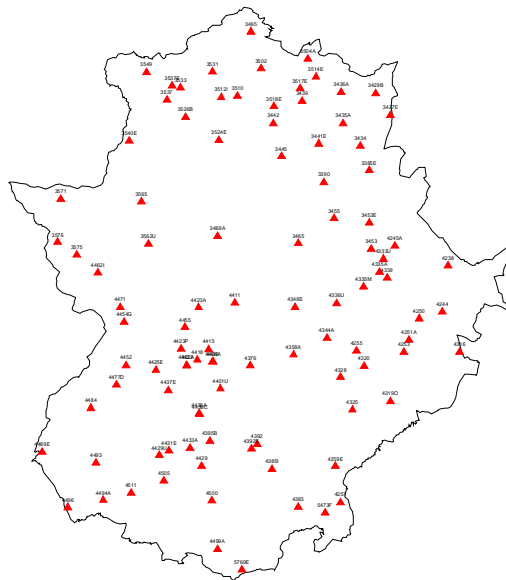
Podíamos pensar en rellenar en lo posible las lagunas que presentan otras estaciones de la red secundaria a partir correlaciones de periodos comunes entre ellas, esto así se ha hecho para la publicación

Climatología de Extremadura 1961-1990, y podemos tener una cobertura como la que se muestra en el siguiente mapa:



Podemos observar una mucho mejor cobertura, pero aún así en determinadas variables puede resultar escasa y además estamos partiendo de datos de partida que son estimados y no observados, añadiéndose al error que podamos cometer en la interpolación espacial, el propio de las observaciones y el cometido al rellenar las lagunas.

Sin embargo si pudiésemos hacer una buena interpolación espacial mensualmente, la cobertura de la red de observación prácticamente se duplica:



y sólo tendremos que arrastrar los errores de observación y los de interpolación espacial, no los de relleno de lagunas, y además en cada momento tendríamos una mejor cobertura.

La idea es por lo tanto realizar las interpolaciones espaciales con series de observación lo más cortas posibles, con objeto de aprovechar el máximo número de observaciones posible.

Para la interpolación nos basaremos, además de en las estaciones de la red secundaria, en un modelo digital del terreno con una resolución de 2 km, del que derivaremos altitudes, orientaciones y pendientes.

Tratamiento de los datos.

Como se ha dicho anteriormente, la intención es tener para cada mapa que se quiere interpolar el mayor conjunto de estaciones posibles, así como de la mejor calidad posible. Se parte por lo tanto del conjunto de estaciones de la red secundaria disponible para un mes. De este conjunto seleccionamos mediante los filtros de comparación de curvas mensuales y de picos (véase *Selección de estaciones de la Red Secundaria del INM: Temperatura*), un subconjunto de estaciones que nos ofrecen cierta garantía, y con lo que pretendemos que la ‘relación señal-ruido’ sea lo mayor posible.

Del modelo digital del terreno (MDT) utilizado se han definido 9 clases de orientación.

Cada píxel del MDT se ha clasificado en una de las clases de orientación de la siguiente forma:

- Se han obtenido las pendientes y orientaciones directas del MDT
- Se han reclasificado las orientaciones en 8 clases.
- A cada píxel se le ha asignado la clase de orientación de la mayoría de píxels en un entrono rectangular de 3 celdas de amplitud.
- A los puntos donde no es posible calcular una mayoría se les ha asignado el valor original de orientación.
- Se crea una nueva clase de orientación con los píxels con pendiente menor a 1°.

Descripción del método.

La metodología empleada consiste en realizar para cada píxel del MDT, un análisis de regresión entre la variable meteorológica a interpolar y uno o varios campos de apoyo con una resolución espacial suficiente y que ofrezcan una buena dependencia con la variable meteorológica a interpolar, como por ejemplo el campo de alturas. El modelo se realiza con un número fijo de estaciones del entorno, en la que las entradas al modelo de regresión se pesan en función de ciertos parámetros como puede ser la distancia y la orientación relativa entre los puntos de observación y los píxels en los que se efectúa la estimación de la variable meteorológica en cuestión, de forma que a menor distancia entre píxel y estación la observación pese más y a orientación más parecida lo mismo. Al píxel en cuestión se le asigna un valor de la variable meteorológica a interpolar de acuerdo a lo que el modelo local desarrollado predice según los valores que los campos de apoyo toman en él. (C. Daly, R. P. Neilson, D. Phillips, 1992; David M. Kidd, Nicholas C. Pepin, 2000).

De las pruebas de regresión con la temperatura media de las máximas con distintas variables, altura, orientación, cantidad de energía máxima teórica recibida por cada píxel, ... la única que ha ofrecido en nuestro caso correlaciones apreciables ha sido la altura por lo que emplearemos un modelo estadístico de regresión lineal de la temperatura frente a la altura proporcionada por el MD.

Como consecuencia cada píxel del mapa interpolado lleva un modelo independiente que se ajusta lo mejor posible a las observaciones de alrededor.

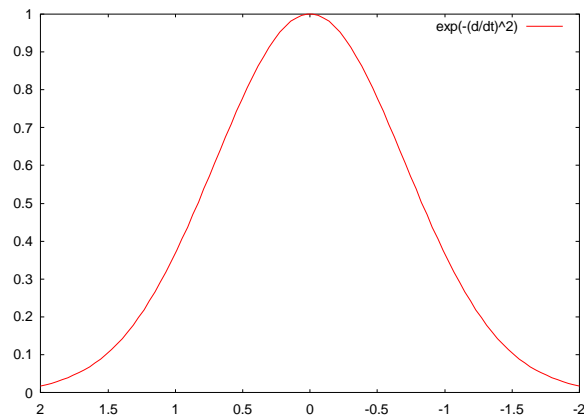
Los pesos empleados sobre las observaciones para realizar el ajuste del modelo de cada píxel, son de la forma siguiente:

· Para la distancia:

Se ha elegido una campana de Gauss

$$p_d(d) = e^{-\left(\frac{d}{d_t}\right)^2}$$

donde d es la distancia del píxel a interpolar con la estación empleada para interpolar, d_t es una distancia típica, que será uno de los parámetros del método, y p_d es el peso aplicado, dependiente de la distancia.



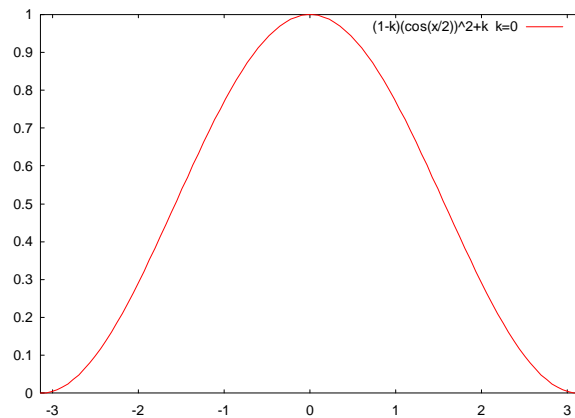
· Para la orientación:

Se aplica la siguiente formula:

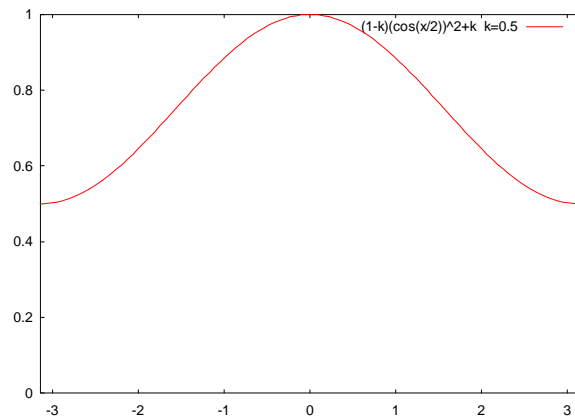
$$p_o(\alpha) = (1-k)\cos^2\left(\frac{\alpha}{2}\right) + k \quad \alpha \in (-\pi, \pi)$$

donde α es la diferencia entre la orientación de la estación y el píxel considerado, k es otro parámetro que nos determinará en qué porcentaje se pesa según la orientación y p_o es el peso aplicado por la orientación.

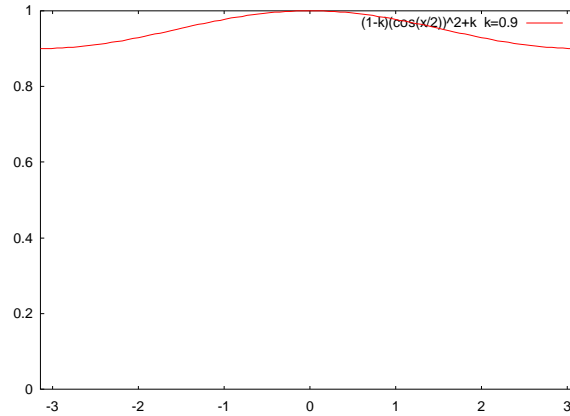
Con $k=0$



Con $k=0.5$:



Con $k=0.9$:



Nos quedaría definir un peso más que sería el peso entre las clases de orientación llano y las demás es lo que llamamos p_{ec} , y al que se le aplica un valor fijo entre 0 y 1.

El peso total aplicado a cada observación para el calculo del modelo de cada punto se obtendría de la expresión:

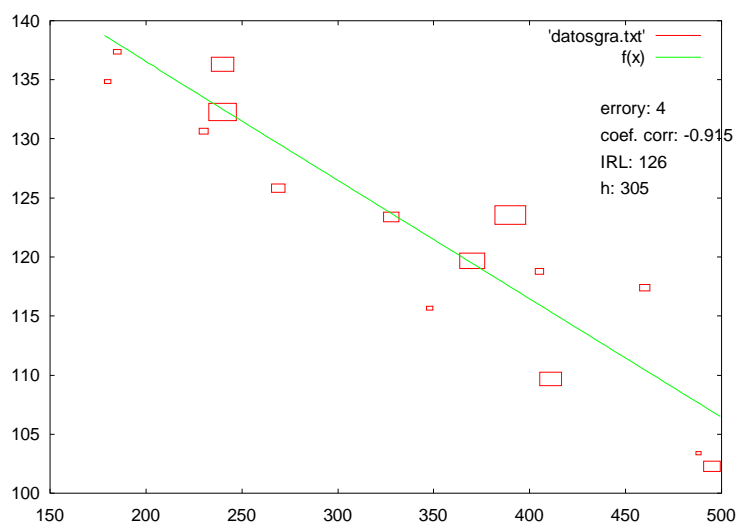
$$P = p_d p_o p_{ec}$$

El valor de la variable interpolada sobre cada punto se fija de acuerdo al valor de altura obtenido del MDT y del modelo de regresión ajustado con la información disponible para ese punto.

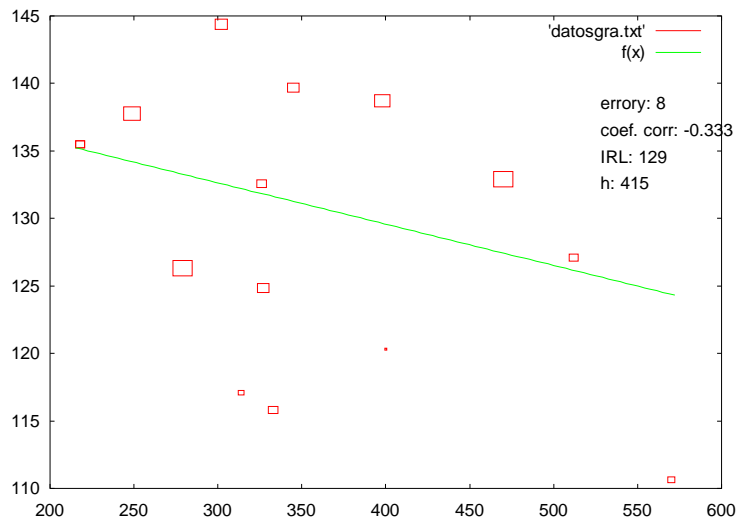
Del ajuste del modelo de regresión se obtienen, para cada punto, una pendiente y una ordenada en el origen de la curva de ajuste, así como un coeficiente de correlación y un error de estimación.

El modelo al estar así construido se comporta por lo tanto como un interpolador tridimensional si existe correlación entre la variable meteorológica y la altura y como un interpolador bidimensional si no existe correlación.

Vemos dos ejemplos uno en el que es posible ajustar un modelo con un coeficiente de correlación bueno (-0.915):



y otro ejemplo donde el coeficiente de correlación del modelo es malo (-0.333):



En el primer ejemplo la interpolación presumiblemente mejorará a cualquier interpolación de tipo matemático ya que ésta utiliza una información adicional a la que utilizan los métodos de interpolación puramente matemáticos que suelen ser interpoladores en dos dimensiones. En el segundo caso en el que no hay correlación apreciable, la interpolación está a la altura de los demás métodos de interpolación, ya que el valor predicho por el método se ajusta a la nube de puntos en la que se apoya, dando más validez a los puntos más cercanos, eso sí, la superficie de interpolación generada no pasa exactamente por las observaciones, lo cual en este tipo de datos puede llegar a ser una ventaja, ya que todos los datos de la red secundaria no nos ofrecerán en general una certeza absoluta, de que la medida ofrecida sea cierta, y los datos realmente malos se verán desechados de forma natural por el modelo de interpolación.

Otra característica importante de este tipo de método de interpolación espacial es su fácil generalización, ya sea utilizando otros modelos de regresión (múltiple, polinómica, logarítmica, ...) o utilizando otros campos de apoyo.

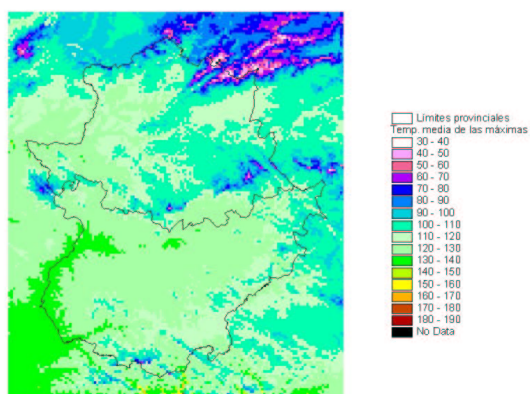
Al método de interpolación empleado, para su reconocimiento entre el conjunto de métodos de interpolación, lo llamaremos en adelante Interpolación por Regresión Local (IRL)

Resultados obtenidos.

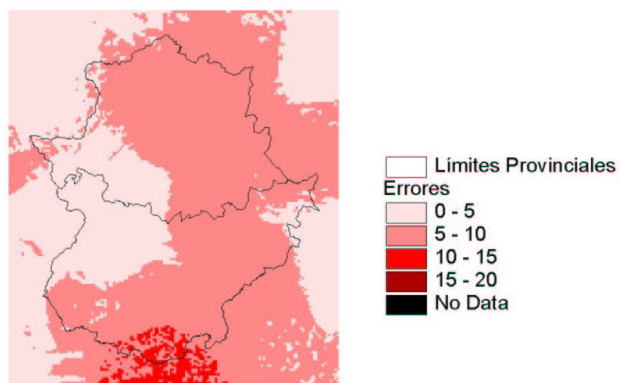
Mostramos a continuación unos ejemplos de interpolaciones realizadas siguiendo este método (IRL) con una serie de datos de prueba:

Interpolamos con los datos disponibles de la red secundaria del mes de enero de 1997, que han pasado los filtros citados anteriormente:

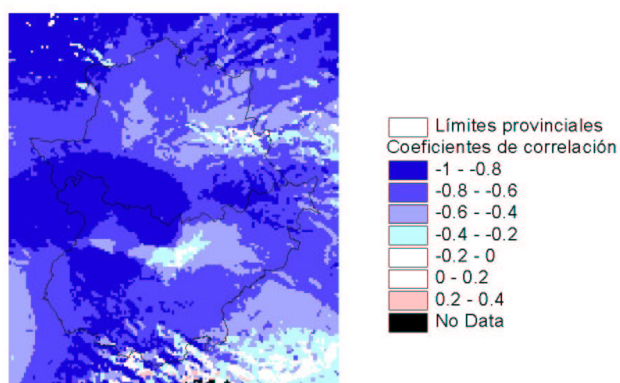
Temperatura media de las máximas
Enero 97. Mediante IRL.
(décimas de grado)



Errores en Temperatura media de las máximas
Enero 97. Mediante IRL.
(décimas de grado)

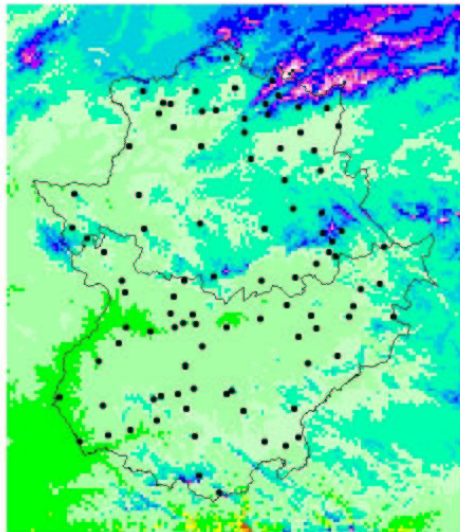


Coeficientes de correlación .
Temperatura media de las máximas. Enero 97. Mediante IRL.

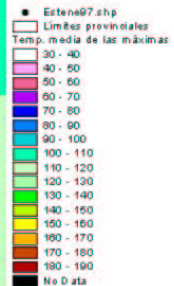
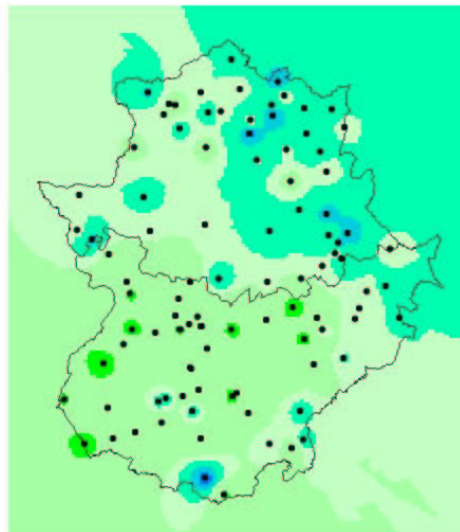


Comparación de los métodos IRL e IDW Enero 1997

IRL

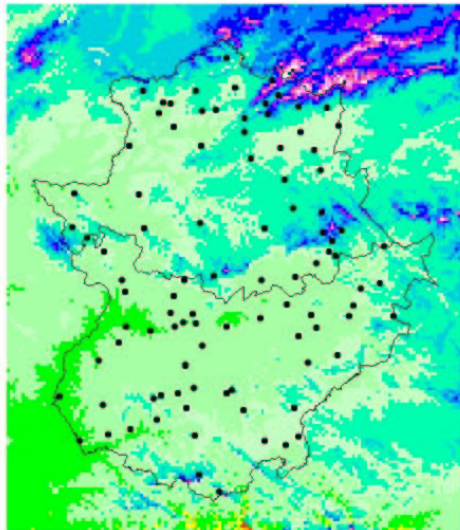


IDW

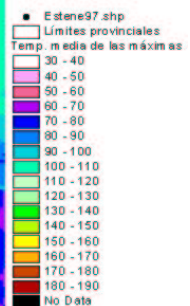
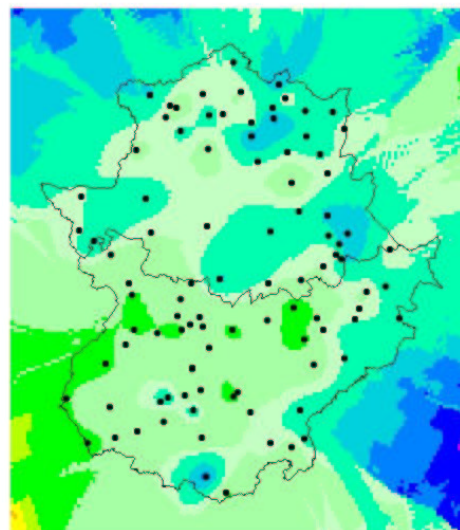


Comparación de los métodos IRL y Krigging. Enero 1997

IRL

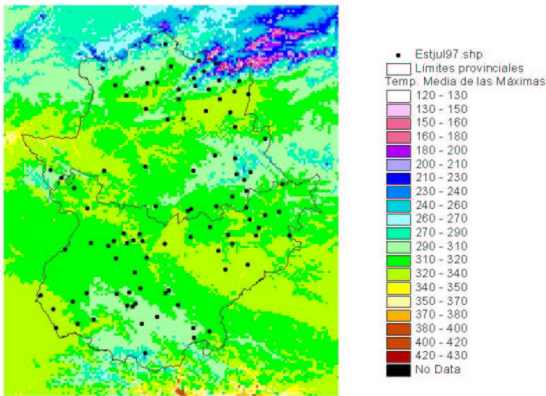


Krigging

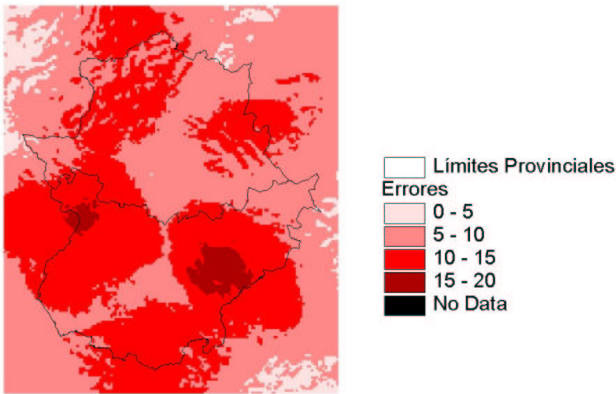


Para el mes de julio de 1997 hemos obtenido los siguientes resultados:

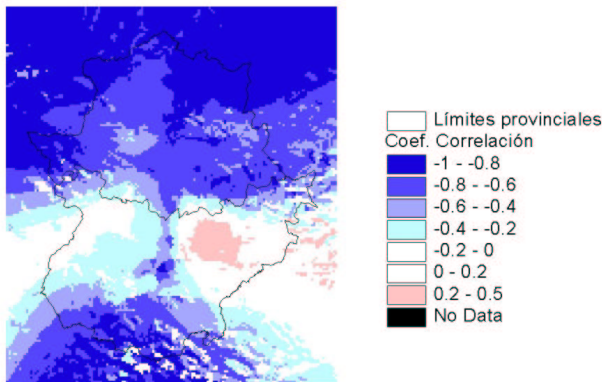
Temperatura media de las máximas
Julio 97. Mediante IRL.
(décimas de grado)



Errores en Temperatura media de las máximas
Julio 97. Mediante IRL.
(décimas de grado)

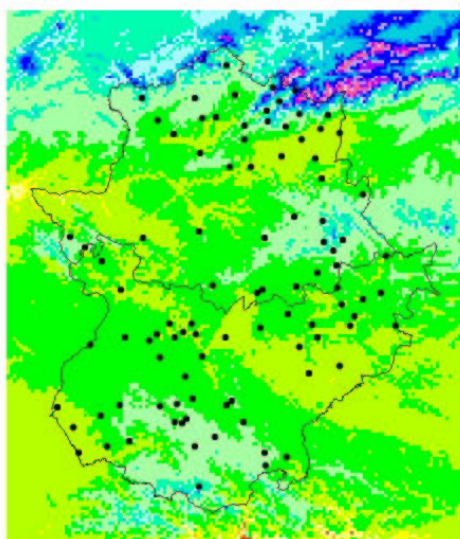


Coeficientes de correlación .
Temperatura media de las máximas.
Julio 97. Mediante IRL.

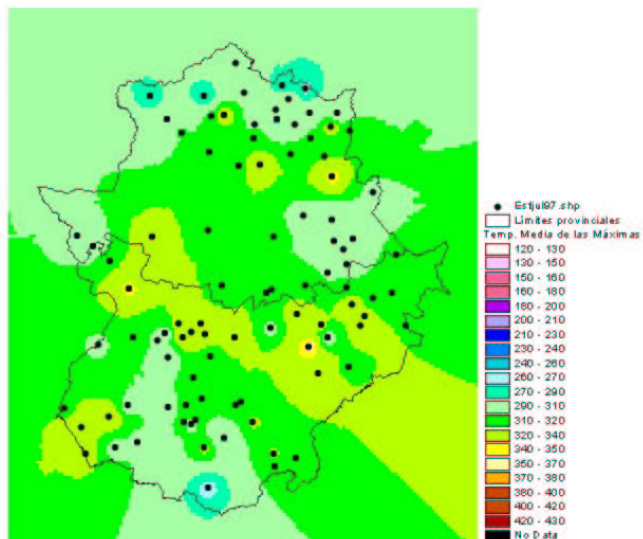


Comparación de los métodos IRL e IDW Julio 1997

IRL

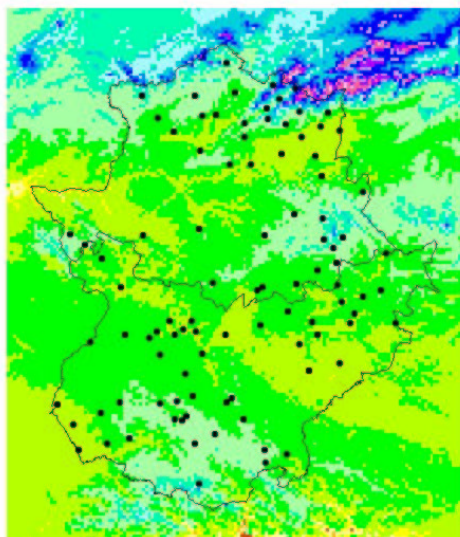


IDW

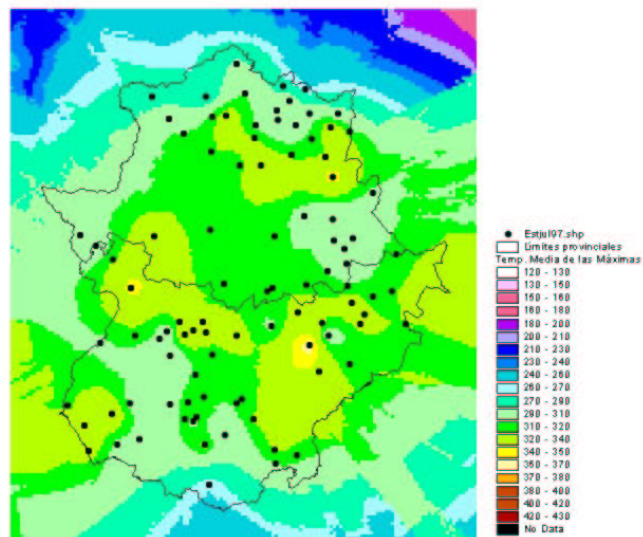


Comparación de los métodos IRL y Krigging. Julio 1997

IRL

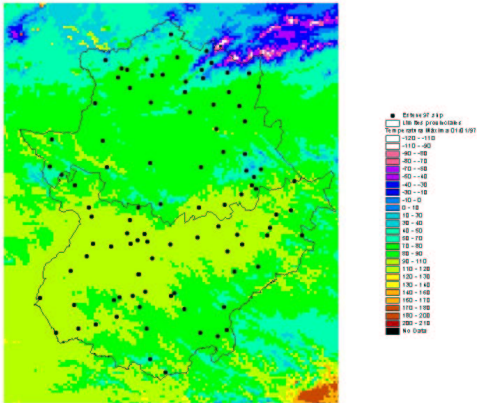


Krigging

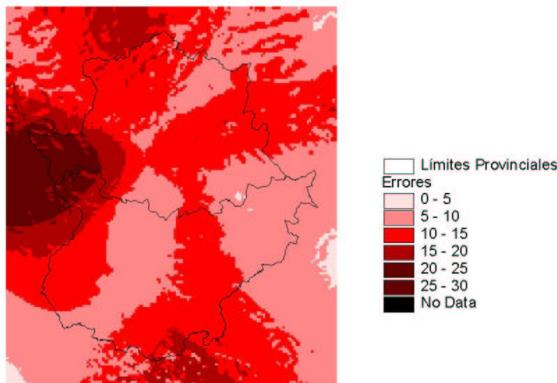


El método se ha aplicado también a la interpolación de temperatura máxima diaria, con resultados también satisfactorios. Veanse los dos siguientes ejemplos, del día 1 de enero de 1997 y del 15 de enero de 1997, como ilustración:

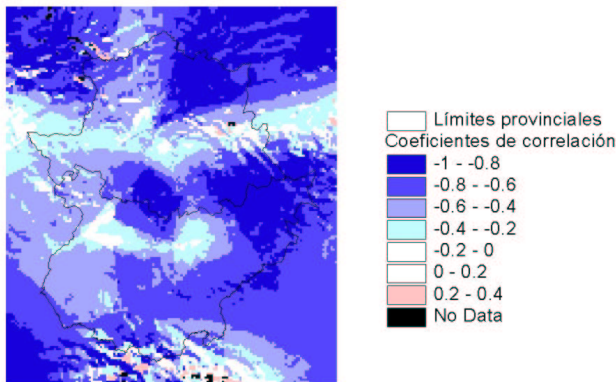
Temperatura Máxima.
01/01/97. Mediante IRL.
(décimas de grado)



Errores en Temperatura Máxima
01/01/97. Mediante IRL.
(décimas de grado)



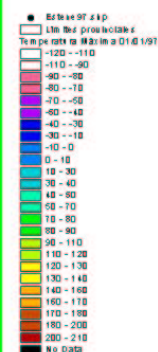
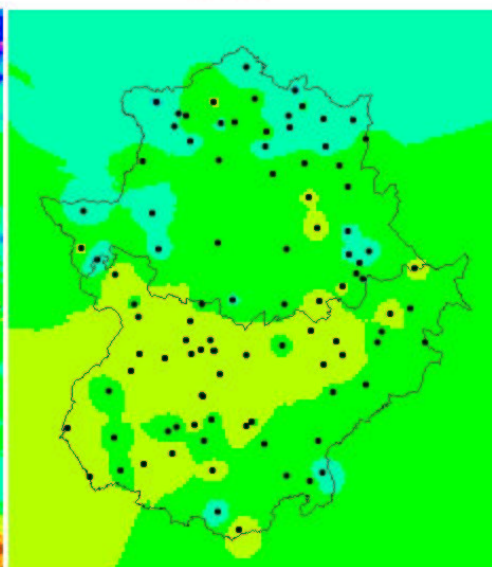
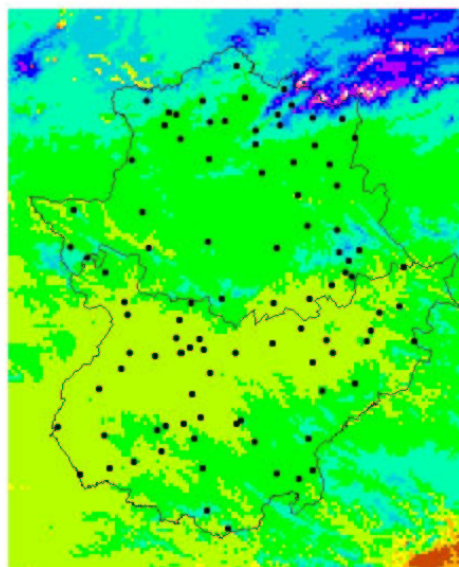
Coeficientes de correlación .
Temperatura Máximas. 01/01/97. Mediante IRL.



Comparación de los métodos IRL e IDW 01/01/1997

IRL

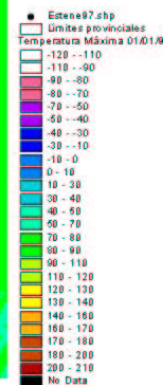
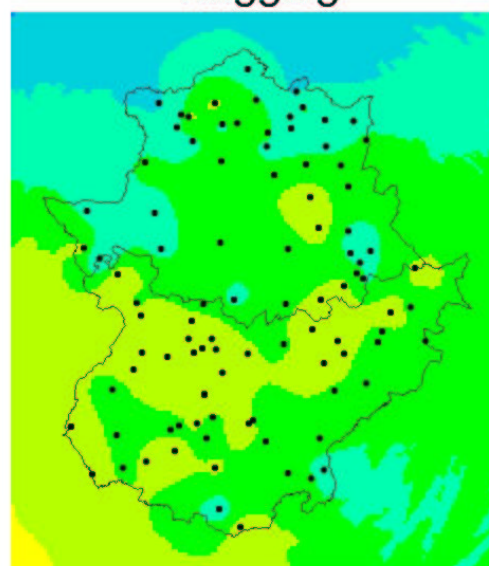
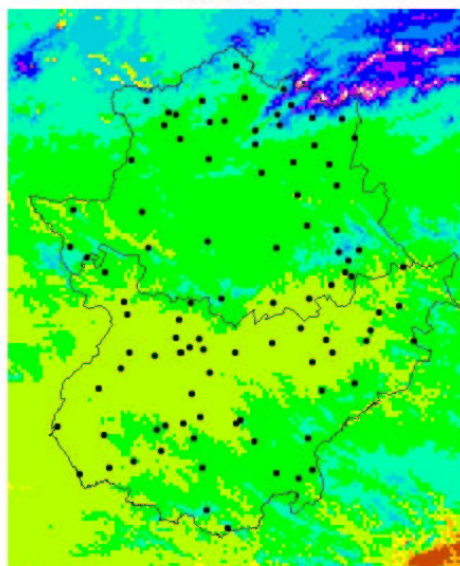
IDW



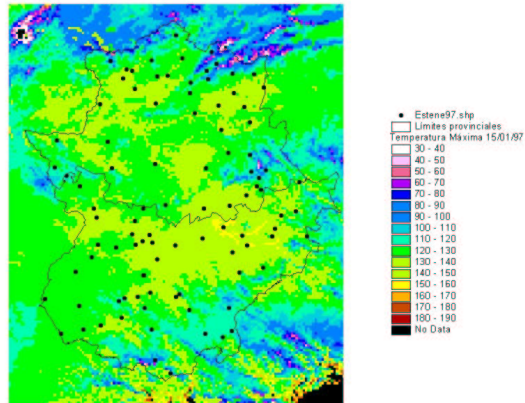
Comparación de los métodos IRL y Krigging. 01/01/1997

IRL

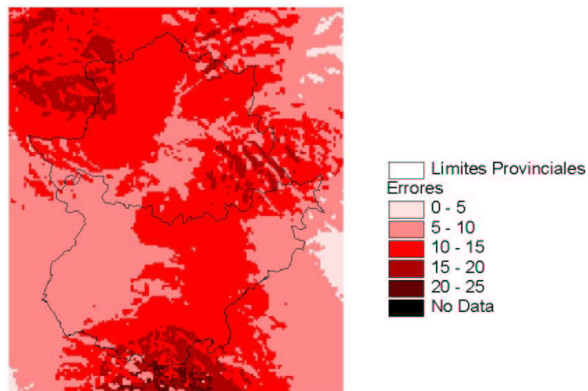
Krigging



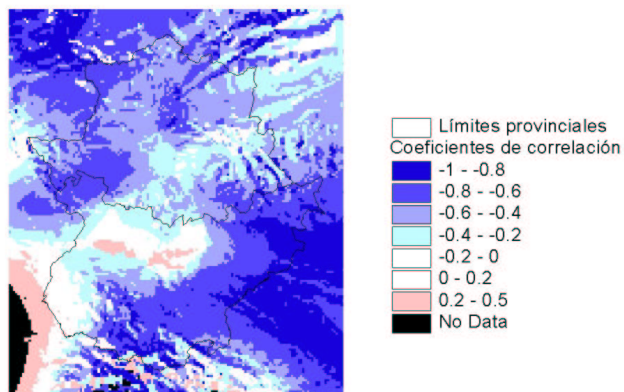
Temperatura Máxima.
15/01/97. Mediante IRL.
(décimas de grado)



Errores en Temperatura Máxima
15/01/97. Mediante IRL.
(décimas de grado)

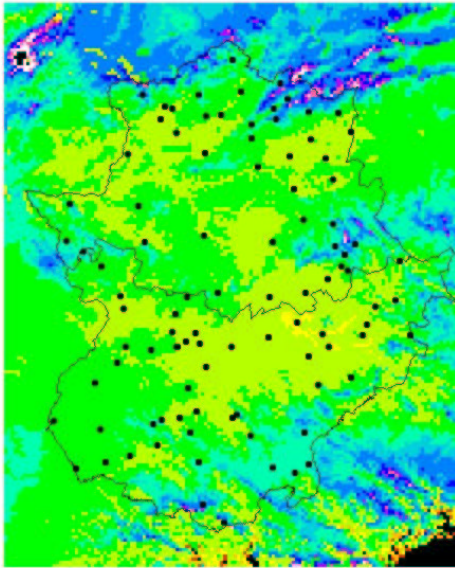


Coefficientes de correlación .
Temperatura Máximas. 15/01/97. Mediante IRL.

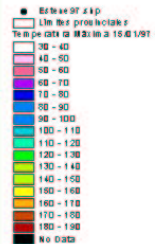
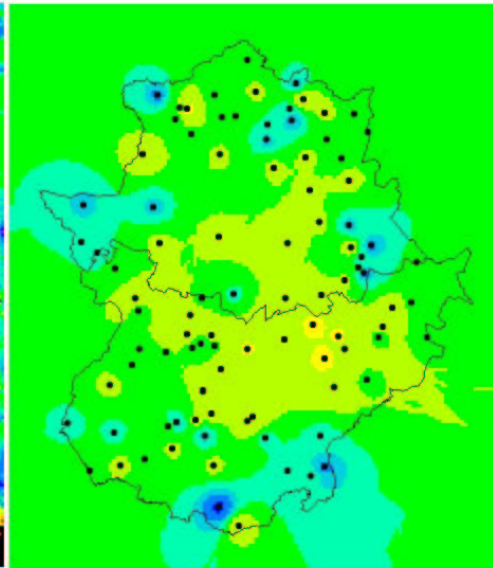


Comparación de los métodos IRL e IDW 15/01/1997

IRL

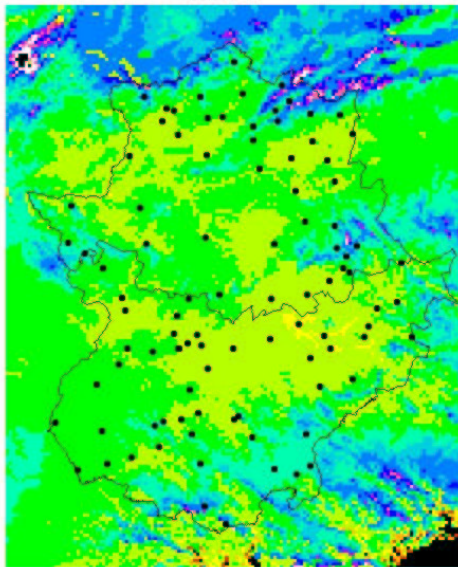


IDW

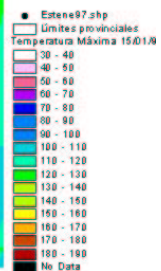
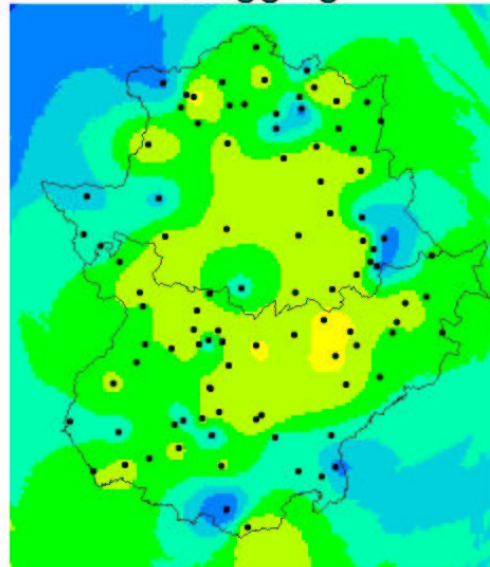


Comparación de los métodos IRL y Krigging. 15/01/1997

IRL



Krigging



Como puede observarse de los distintos mapas presentados el método del IRL no es un método “topográfico”, es decir no es un método de interpolación que obtenga un mapa de alturas pero con una escala de temperaturas, como se obtendría en el caso de haber realizado una regresión lineal con todas las observaciones disponibles, al calcularse las regresiones localmente, la superficie generada se va adaptando a las variaciones espaciales de la variable a interpolar, teniendo en cuenta a su vez las variaciones de dicha variable con la altura y la orientación.

Comparación con otros métodos de interpolación

Para comparar este método con otros se ha optado por eliminar una estación del conjunto y realizar una interpolación espacial y comparar los resultados estimados por los distintos métodos de interpolación espacial con la observación realizada en la estación eliminada del conjunto.

Los métodos de interpolación espacial elegidos para la comparación han sido IDW (Inverse Distance Weighted), Krigging y Splines. Se ha intentado también utilizar el cokrigging, apoyado en la altura del MDT, pero no se obtenía una dependencia suficiente entre variable a interpolar y la altura de las estaciones.

Se ha realizado una pasada para cada una de las estaciones eliminadas.

El conjunto de estaciones de prueba elegidas ha sido el siguiente:



Las observaciones realizadas en el mes de enero de 1997 y los valores estimados por varios métodos de interpolación espacial, en décimas de grado, son:

	Observación	IRL	IDW	Krigging	Splines
4383	116	120	123	124	130
4429U	113	124	119	118	109
4499A	90	111	129	135	146
4489E	136	139	130	141	160
4425E	135	136	133	136	191
4316	111	111	117	110	80
4245A	96	110	109	103	70
3575	102	115	121	120	119
3469A	119	116	117	111	105
3524E	126	121	114	110	78
3512I	110	113	118	120	119
3549	103	111	120	125	71
3439	92	98	110	110	103
3504A	95	102	114	122	141
3595	114	114	114	116	47

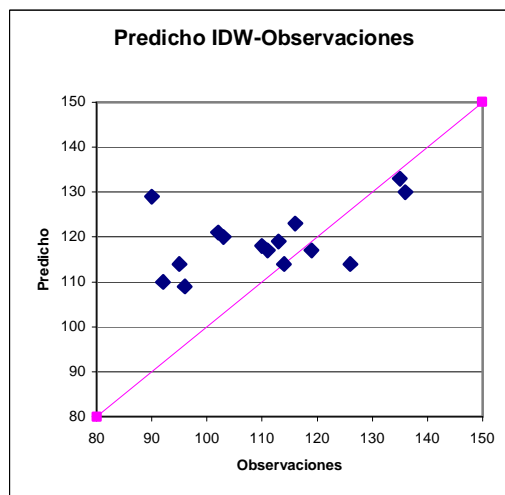
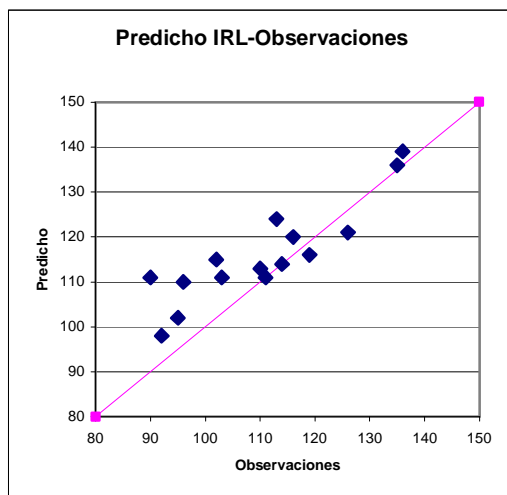
Y las diferencias entre los valores estimados y las observaciones, en décimas de grado:

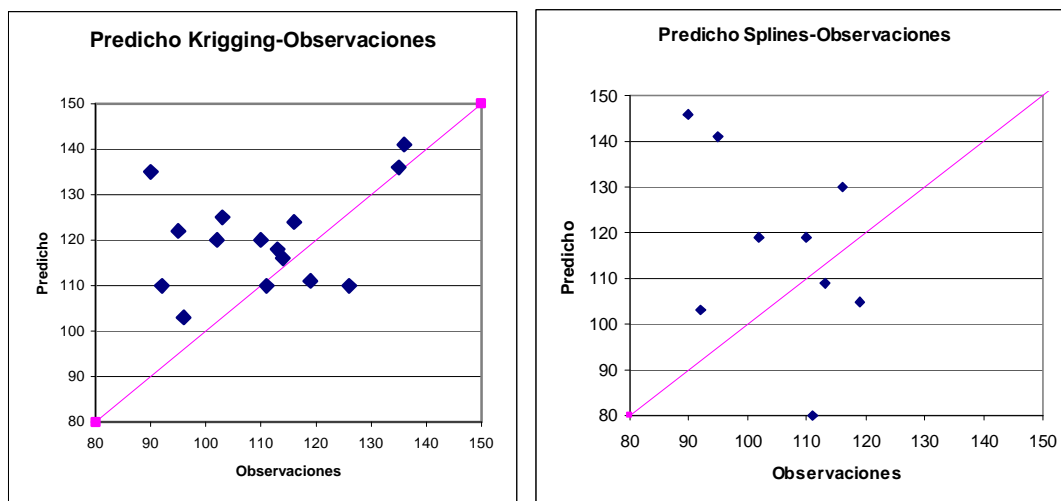
Diferencias con las observaciones

	IRL	IDW	Krigging	Splines	El mejor	El 2º mejor
4383	4	7	8	14	IRL	IDW-Krigging
4429U	11	6	5	-4	IDW-Krig-Spli	IRL
4499A	21	39	45	56	IRL	IDW
4489E	3	-6	5	24	IRL	IDW-Krigging
4425E	1	-2	1	56	IRL-Krig-IDW	Splines
4316	0	6	-1	-31	IRL-Krig	IDW
4245A	14	13	7	-26	Krig	IDW-IRL
3575	13	19	18	17	IRL	Spli-Krig-IDW
3469A	-3	-2	-8	-14	IDW-IRL	Krig
3524E	-5	-12	-16	-48	IRL	IDW-Krigging
3512I	3	8	10	9	IRL	IDW-Spli-Krig
3549	8	17	22	-32	IRL	IDW
3439	6	18	18	11	IRL	Splines
3504A	7	19	27	46	IRL	IDW
3595	0	0	2	-67	IRL-IDW	Krigging
Sigma	7	13	15	37	IRL	IDW-Krig

Puede comprobarse por las diferencias de las estimaciones y las observaciones que el método del IRL ofrece unos resultados mejores que los demás métodos de interpolación probados en la mayoría de los casos. Si se calcula la desviación estándar de las diferencias entre observaciones y predicciones, el valor más bajo lo arroja el IRL.

Representamos estimaciones frente a observaciones:





En las gráficas anteriores podemos observar que el único método que tiende a adoptar una nube de puntos cercana a la línea de pendiente 1 y que pasa por el origen es el IRL, los demás producen una nube de puntos horizontal al no tener una forma de adaptarse a la orografía.

Conclusiones y posteriores estudios.

El método de interpolación basado en la regresión local, para la región Extremeña y la variable meteorológica de la temperatura máxima diaria y media de las máximas mensual, es superior y cuando menos comparable a los demás métodos de interpolación espacial, tanto cuantitativa como cualitativamente.

Quedaría todavía por aplicar una metodología similar a otras variables meteorológicas.

Referencias:

- C. Daly, R. P. Neilson, D. Phillips (1992). A Statistical-Topographic Model for Mapping Climatological Precipitation over Mountainous Terrain. Journal of Applied Meteorology, Vol 33, Pag. 140-158.
- Wayne Gibson, Chistofher Daly, George Taylor (1997). Derivation of Facet Grids For Use With The Prism Model. http://www.ocs.orst.edu/prism/facet_ac1997.html
- David M. Kidd, Nicholas C (2000). Modeling mean monthly temperature with local weighted regression. Pepin. 4th International Conference on Integrating GIS and Environmental Modelling (GIS/EM4): Problems, Prospects and Research Needs. Banff, Alberta, Canada, September 2-8, 2000. <http://www.colorado.edu/research/cires/banff/upload/232/>
- Pinde Fu and Paul M. Rich (2000). A Geometric Solar Radiation Model and Its Applications in agriculture And forestry. http://www.hemisoft.com/doc/giaf_2000/giaf_00.htm
- Fred C. Collins Jr. A Comparison of Spatial Interpolation Techniques in Temperature Estimation. http://www.ncgia.ucsb.edu/conf/SANTA_FE_CD-ROM/sf_papers/collins_fred/collins.html
- José A. Guijarro Pastor (1986). Contribución a la Climatología de Baleares. Tesis Doctoral. Universitat de les Illes Balears. Dpt. De Biología i Ciències de la Salut.
- José A. Sosa Cardo (2001). Selección de estaciones de la Red Secundaria del INM: Temperatura. Sección de Estudios y Desarrollos, Centro Meteorológico Territorial en Extremadura. 1ª Jornada sobre Aplicación de los GIS a Climatología, Septiembre 2001. INM.